

EMI - Notes

	STATIQUE	DYNAMIQUE
Electromagnetisme	- électrostatique PHY	- théorie des circuits localisés ✓ scalaire, t
	- magnétostatique PHY	- théorie des circuits distribués EMI scalaire, z, t
	vectorielle x, y, z	- théorie exacte électrodynamique (Maxwell) PHY + EMI vectorielle x, y, z, t

I) Composants localisés ou distribués

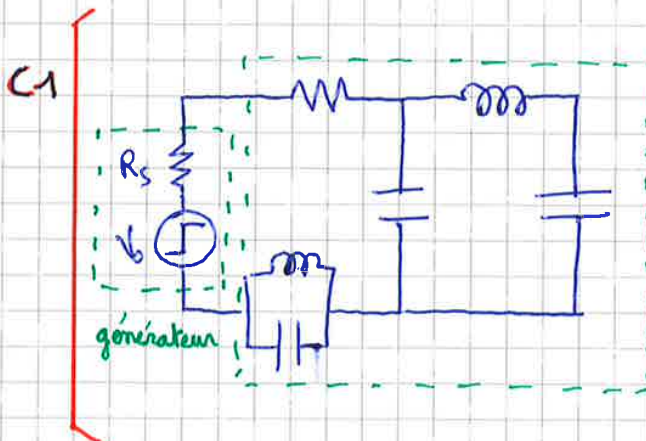
a - Limites de la th. localisée

* composant localisé = ponctuel



* circuit localisé = composants localisés + fils de longueurs 0

→ circuit en un point



circuit localisé

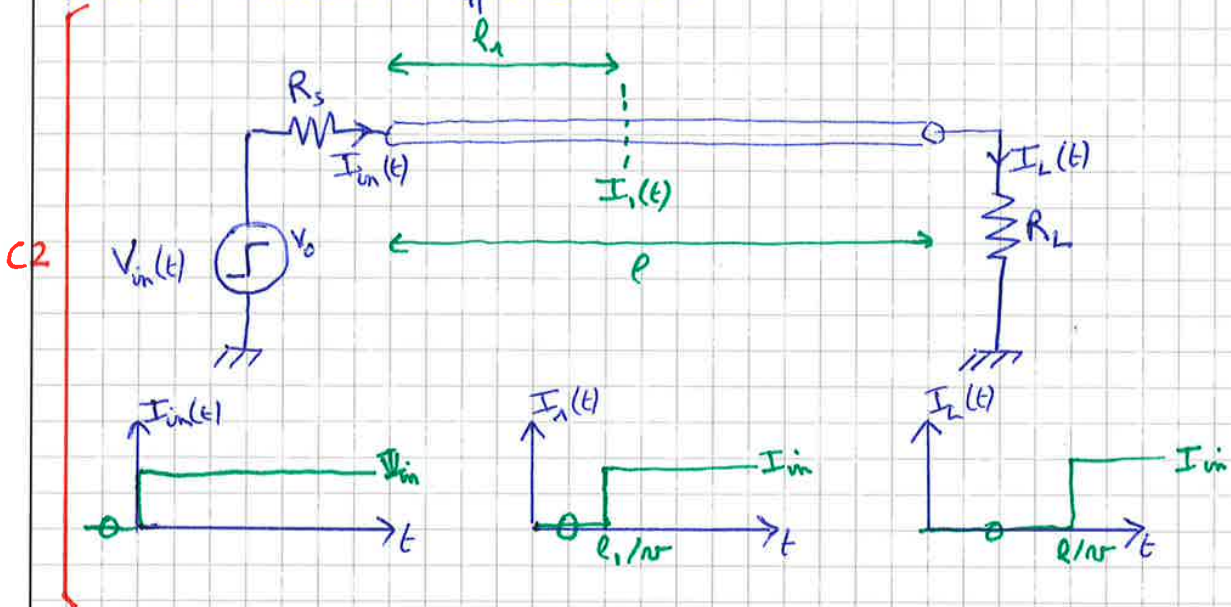
= réaction sans retard à

$t = 0$



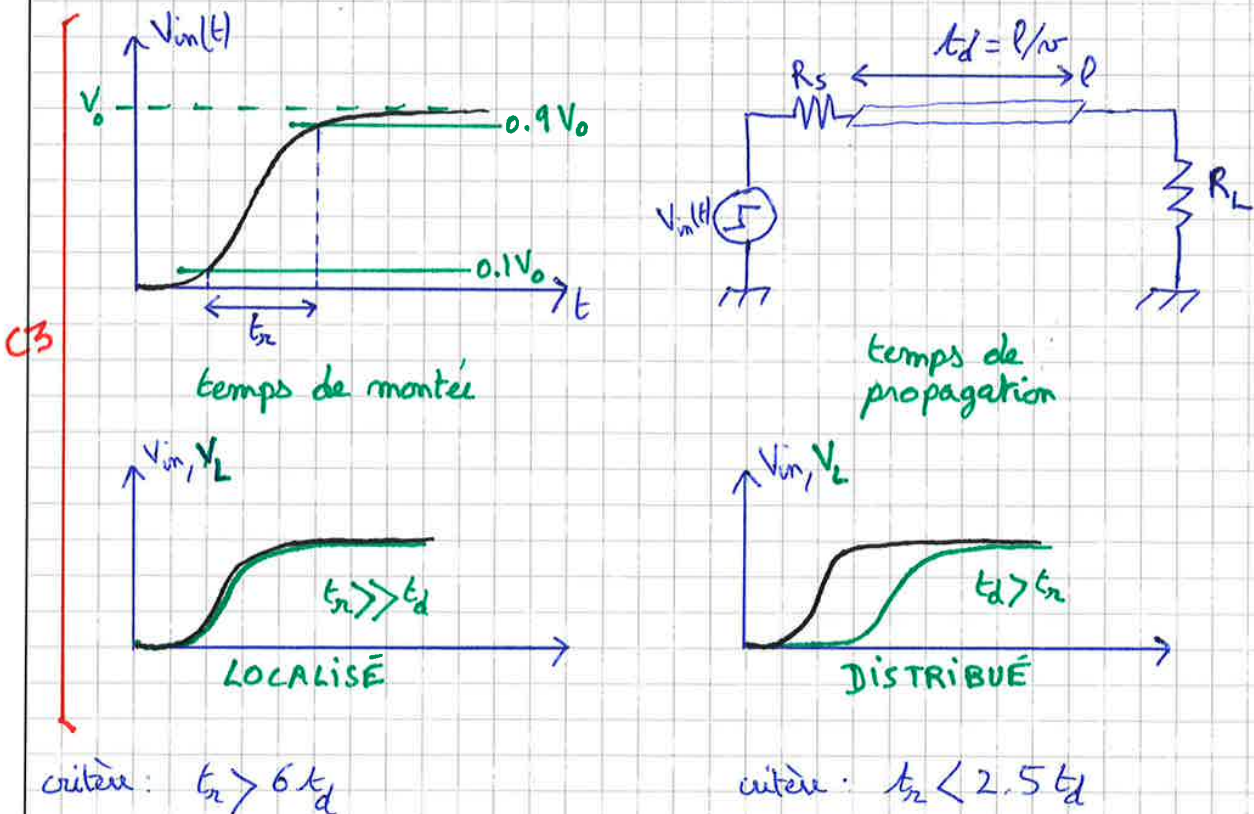
ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

* circuit distribué = effets de retard



localisé ? distribué ? $\Rightarrow$ critère

b. Temps de montée vs temps de propagation





ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

E1 -

$$t_d = \frac{l}{v} = \frac{l}{0.43 \cdot 3 \cdot 10^8} = 0.07 \text{ ns}$$

CMOS: $0.5 \leq t_r \leq 2 \Rightarrow \frac{0.5}{0.07} \leq \frac{t_r}{t_d} \leq \frac{2}{0.07} \Rightarrow 7.1 \leq \frac{t_r}{t_d} \leq 28.6$ **localisé**

GaAs: $0.02 \leq t_r \leq 0.1 \Rightarrow \frac{0.02}{0.07} \leq \frac{t_r}{t_d} \leq \frac{0.1}{0.07} \Rightarrow 0.29 \leq \frac{t_r}{t_d} \leq 1.43$ **distribué**

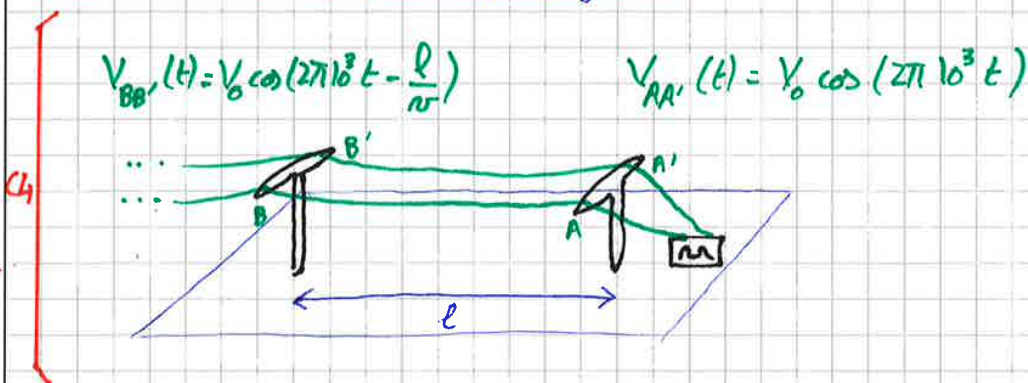
E2 -

$$\frac{t_r}{t_d} < 2.5 \Rightarrow \frac{t_{rc}}{l} < 2.5 \Rightarrow \frac{t_{rc}}{2.5} < l$$

$$\Rightarrow l_{\min} = \frac{t_{rc}}{2.5} = \frac{10^{-13} \cdot 3 \cdot 10^8}{2.5} = 12 \mu\text{m}$$

Si le circuit est plus grand que $12 \mu\text{m} \Rightarrow$ **distribué**

c. Période et temps de propagation:



$$V_{in}(t) = V_0 \cos(2\pi f t)$$

$$V_{out}(t) = V_0 \cos(2\pi f (t - t_d)) = V_0 \cos(2\pi f t - 2\pi t_d / T) \quad T = 1/f$$

localisé $\Rightarrow V_{in} \approx V_{out} \Rightarrow t_d \ll T$

critère: $t_d < 0.01 T$



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

E3. La formule est $l = c t_d = \frac{c}{100f}$

Cable haute tension : 50 km
Ligne téléphonique : 3 km
etc

d. Taille de composant vs. λ

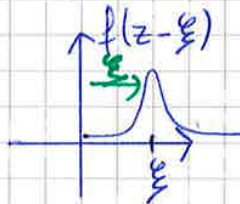
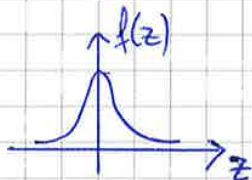
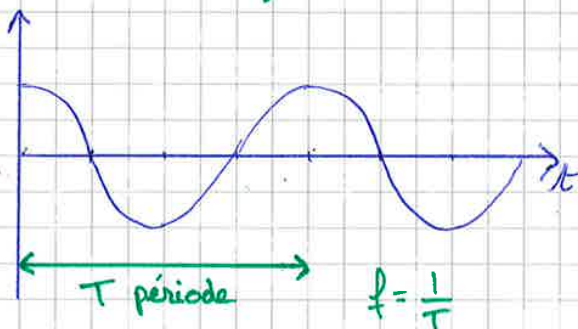
$$I(z, t) = A \cos \left(2\pi f t - \frac{2\pi}{\lambda} z \right)$$

$\nwarrow$ fréquence $\nearrow$ longueur d'onde

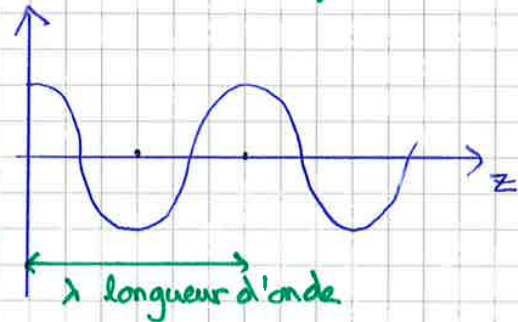
Interpretation:

fréquence : périodicité temporelle à z fixé
 λ : " spatiale à t fixé

$z=0$ fixé



$t=0$ fixé



$$I(z, t) = A \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} z - 2\pi f t \right) = A \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} (z - \lambda f t) \right)$$

$f(z - \frac{z}{\lambda})$, $\frac{z}{\lambda} = \lambda f t$

$\Rightarrow$ bouge à la vitesse de phase
 $v_p = \lambda f$

C6



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

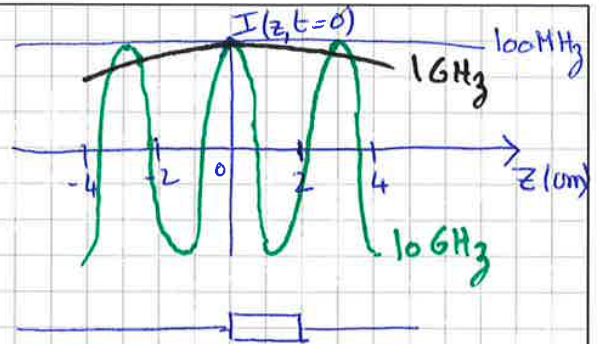
E4 -

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{f}$$

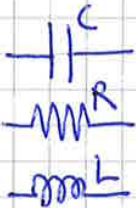
$$\lambda_{100\text{MHz}} = 3\text{m} \gg 2\text{cm} \text{ localisé}$$

$$\lambda_{1\text{GHz}} = 30\text{cm} \left. \vphantom{\lambda_{1\text{GHz}}} \right\} \text{distribué}$$

$$\lambda_{10\text{GHz}} = 3\text{cm}$$

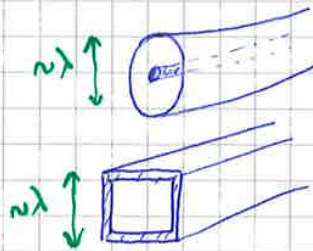


e - Différents types de composants électromagnétiques



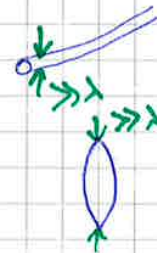
$\ll \lambda$
éléments localisés

dimensions bien plus
courtes que la longueur
d'onde



$\sim \lambda$
éléments distribués

guides d'ondes avec
des sections efficaces
comparables à la
longueur d'onde



$\gg \lambda$
autres

fibres optiques avec
sections efficaces plus
grandes que la longueur
d'onde



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

II) Théorie des lignes de transmission : domaine temporel

a - Discussion

ligne bifilaire

câble
coaxial

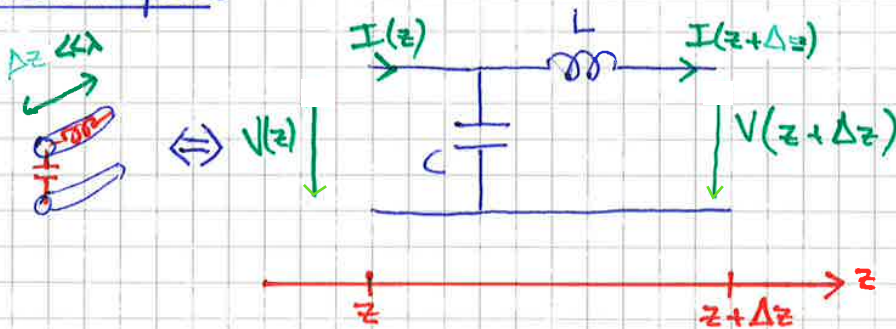
guide à plaques
parallèles

ligne
ruban

ligne microruban

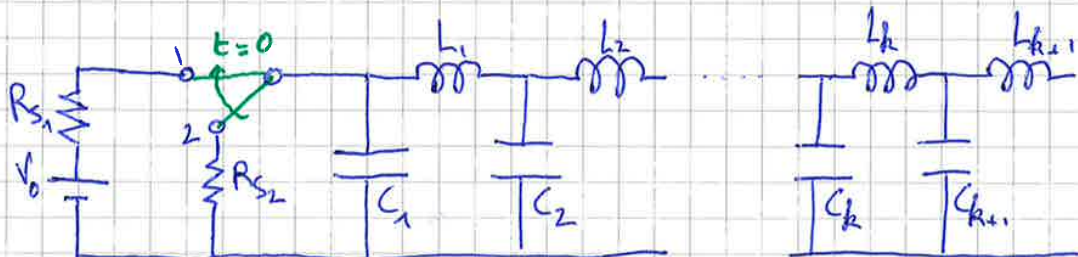
C8

* Ligne sans pertes



C9

* Ondes transitoires



C10



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

état initial : pas de courant dans L_k , pas de charges dans C_k
switch 2 $\rightarrow$ 1 : Le courant ne peut s'écouler tout de suite dans L_1

Il charge d'abord C_1

Lorsque la ddp sur L_1 est suffisante, C_1 se recharge dans L_1

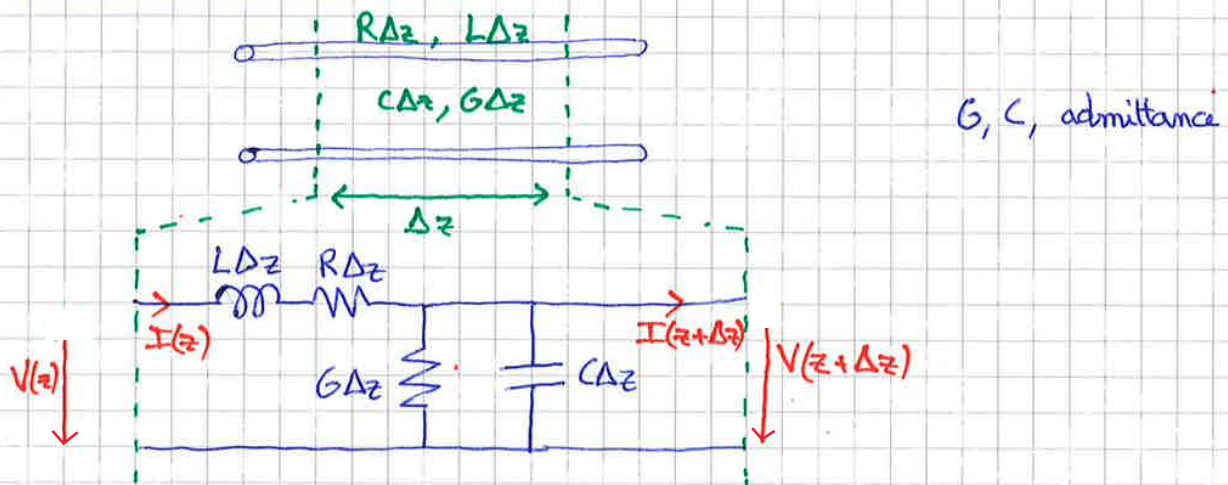
Le courant coule dans L_1 et charge C_2

etc

$\rightarrow$ effets de retard $\Rightarrow$ comportement ondulatoire.

b. Equations

* circuit équivalent (C11)



* équations des LT : (C12)

$$V(z+\Delta z, t) - V(z, t) = -R\Delta z I(z, t) - L\Delta z \frac{\partial I(z, t)}{\partial t}$$

$$\Rightarrow \frac{V(z+\Delta z, t) - V(z, t)}{\Delta z} = -R I(z, t) - L \frac{\partial I(z, t)}{\partial t}$$

$$\Delta z \rightarrow 0 \Rightarrow \frac{\partial V(z, t)}{\partial z} = -(R + L \frac{\partial}{\partial t}) I(z, t) \quad (1)$$